

CLIPPEDIMAGE= JP411316154A

PAT-NO: JP411316154A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11316154 A

TITLE: LAMINATING MATERIAL AND OPTICALLY FUNCTIONAL ELEMENT

PUBN-DATE: November 16, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
ABE, TAKAO	N/A
AGA, KOJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD	N/A

APPL-NO: JP10122556

APPL-DATE: May 1, 1998

INT-CL_(IPC): G01J001/02; G02B005/28 ; H01L021/02 ; H01L031/02 ; H01S003/16

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain a manufacture capable of precisely forming periodic property without deterioration of crystal quality and independent from vapor phase epitaxy by making a lamination layer consisting of two layers having different refractive indexes into a multiple period laminate structure by a substrate pasting method.

SOLUTION: A laminating material showing photonic band gap characteristic is formed by means of substrate pasting using smart cut method. For example, an oxide film A is formed on the surface of a silicon wafer to form a bond wafer 18, and the bond wafer 18 is pasted to a base wafer 16 which is a silicon wafer after a light element ion such as hydrogen ion is implanted thereto. The part 20 subjected to ion implantation is cracked by a prescribed thermal treatment to form a silicon oxide film A and a silicon layer B on a substrate C which is the base wafer 16, whereby one period of a laminate structure is completed. The above process is repeated, whereby a laminate structure having a prescribed number of periods can be formed. When the thickness is changed in the process of lamination to partially disturb the periodic property, a laminate structure having filter characteristic can be provided.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-316154

(43)公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I
G 01 J 1/02		G 01 J 1/02 B
G 02 B 5/28		G 02 B 5/28
H 01 L 21/02		H 01 L 21/02 B
31/02		H 01 S 3/16
H 01 S 3/16		H 01 L 31/02 A

審査請求 未請求 請求項の数26 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-122556

(22)出願日 平成10年(1998)5月1日

(71)出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(72)発明者 阿部 孝夫

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半導体株式会社半導体磯部研究所内

(72)発明者 阿賀 浩司

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半導体株式会社半導体磯部研究所内

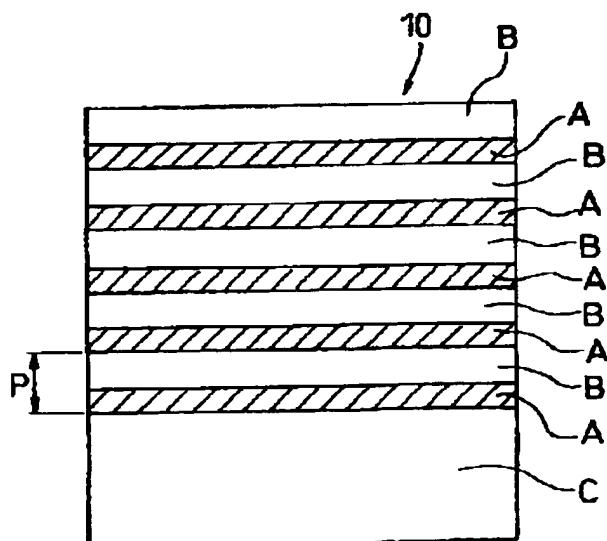
(74)代理人 弁理士 石原 詔二

(54)【発明の名称】 積層材料および光機能素子

(57)【要約】

【課題】結晶品質の低下がなく、周期性も正確に形成されかつ気相成長方法によらずに製造される積層材料並びに当該積層材料を用いた光機能素子を提供する。

【解決手段】屈折率の相異なる二つの層A及びBからなる積層を基板貼り合わせ法によって二周期以上周期的に積層させた多周期積層構造を有するようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の相異なる二つの層A及びBからなる積層を基板貼り合わせ法によって二周期以上周期的に積層させた多周期積層構造を有することを特徴とする積層材料。

【請求項2】 前記多周期積層構造を基板C上に積層させたことを特徴とする請求項1記載の積層材料。

【請求項3】 前記多周期積層構造の一部を非周期性構造とすることを特徴とする請求項1又は2記載の積層材料。

【請求項4】 前記基板貼り合わせ法がスマートカット法であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項5】 前記多周期積層構造の少なくとも一つの層の面内に屈折率の異なる周期性をもたせたことを特徴とする請求項1～4のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項6】 前記少なくとも一つの層の面内の周期性の一部を非周期性とすることを特徴とする請求項5記載の積層材料。

【請求項7】 前記少なくとも一つの層の面内の周期性構造を穴列によって形成することを特徴とする請求項5又は6記載の積層材料。

【請求項8】 前記周期性構造の穴列の一部を非周期性とすることを特徴とする請求項7記載の積層材料。

【請求項9】 非周期性構造部分に発光性を賦与したことを特徴とする請求項3～8のいずれか1項に記載の積層材料。

【請求項10】 前記発光性を希土類元素をドープすることによって賦与したことを特徴とする請求項9記載の積層材料。

【請求項11】 前記希土類元素がエルビウムであることを特徴とする請求項10記載の積層材料。

【請求項12】 前記A層がシリコン酸化膜、前記B層がシリコン層であることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項13】 前記A層がシリコン層、前記B層がシリコン酸化膜であることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項14】 前記シリコン酸化膜の代わりにシリコン塗化膜を形成することを特徴とする請求項12又は13記載の積層材料。

【請求項15】 前記シリコン層の代わりに化合物半導体層を形成することを特徴とする請求項12～14のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項16】 前記A層がシリコン酸化膜、前記B層がシリコン層、および前記基板Cがシリコン基板であることを特徴とする請求項2～11のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項17】 前記A層がシリコン層、前記B層がシリ

を特徴とする請求項2～11のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項18】 前記シリコン酸化膜の代わりにシリコン塗化膜を形成することを特徴とする請求項16又は17記載の積層材料。

【請求項19】 前記シリコン層の代わりに化合物半導体層を形成することを特徴とする請求項16～18のいずれか1項記載の積層材料。

10 【請求項20】 膜厚方向のフォトニックバンドギャップ特性を有することを特徴とする請求項1、2、4、12～19のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項21】 三次元的なフォトニックバンドギャップ特性を有することを特徴とする請求項5、12～19のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項22】 膜厚方向のフィルター特性を有することを特徴とする請求項3、12～19のいずれか1項記載の積層材料。

20 【請求項23】 三次元的なフィルター特性を有することを特徴とする請求項6、12～19のいずれか1項記載の積層材料。

【請求項24】 請求項20～23のいずれか1項記載の積層材料を用いて製造されることを特徴とする光機能素子。

【請求項25】 導波路、光通信変調器又は光検出器であることを特徴とする請求項24記載の光機能素子。

【請求項26】 請求項9～11のいずれか1項記載の積層材料を用いて製造されることを特徴とする発光機能を有する光機能素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フォトニック（光学的）バンドギャップ特性又はフィルター特性及び発光特性を示す積層材料及びその積層材料を用いた光機能素子に関する。

【0002】

【関連技術】フォトニックバンドギャップは、屈折率の異なるAB二種の材料を二周期以上にわたって周期性を有する構造とすることによって特定の波長の光の透過性を抑制する機能であり、例えば、図1に示すごとく、屈折率の異なるAB二層の積層構造を二周期以上にわたって周期的に基板C上に積層することにより実現される。

【0003】一方、フィルター特性は、例えば、図3に示すごとく、フォトニックバンドギャップの積層構造の一部にA層あるいはB層と層厚の異なる層領域Dを挟み込むことにより実現される。このD層は欠陥層と呼ばれる。

【0004】フォトニックバンドギャップのエネルギー幅はA層およびB層の屈折率差に比例するため、半導体（例えば、シリコン層等）と絶縁体（例えば、シリコン

折率差の大きい材料を積層することが重要である。

【0005】一般的な積層構造の作製方法としては気相成長法が多用されている。この気相成長方法は、基板Cの結晶構造と一致する構造を持つ層の成長に最も適している。しかし、フォトニックバンドギャップ特性を示す積層構造は、半導体と絶縁体、あるいは結晶とアモルファスのように結晶構造の異なる二層の積層のため、気相成長法によって界面の平坦性と結晶構造の完全性を維持して作製するのは困難であった。

【0006】具体的な事例として、アモルファスシリコンとシリコン酸化膜（アモルファス）の二層の周期的積層構造によるフォトニックバンドギャップ構造の成長に関する報告がある。しかし、太陽電池を除く半導体素子ではアモルファスは使われていない。結晶シリコンが必要となる場合には、この方法には問題がある。

【0007】一方、エピタキシャル成長した層の表面を短冊状にエッチし、周期的な稜状の台形を形成した二枚の化合物半導体を90度回転しボンディングした構造を四周期積層したフォトニックバンドギャップ構造の報告がある。この構造では大気と半導体の積層で屈折率差をとるが、貼り合わせに熱処理を用いるため、結晶品質に問題がある。このほかにも数例の報告があるが、積層される結晶の品質あるいは周期構造の均一性などに課題がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記した従来技術の問題点に鑑みなされたもので、結晶品質の低下がなく、周期性も正確に形成されかつ気相成長法によらずに製造される積層材料並びに当該積層材料を用いた光機能素子を提供することを目的とする。

【0009】

【課題が解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の積層材料は、屈折率の相異なる二つの層A及びBからなる積層を基板貼り合わせ法によって二周期以上周期的に積層させた多周期積層構造を有することを特徴とする。この構成の積層材料は、膜厚方向のフォトニックバンドギャップ特性を有している。上記多周期積層構造は基板C上に積層される。

【0010】上記多周期積層構造の一部を非周期性構造とすることによって、膜厚方向のフィルター特性を具備した積層材料とすることができます。

【0011】上記基板貼り合わせ法としてスマートカット法を用いることによって、上記した積層材料をさらに効率よくかつ精度よく作製することができるという有利さがある。

【0012】上記多周期積層構造の少なくと一つの層の面内に屈折率の異なる周期性を有する、例えば、穴列を開穿することによって、三次元的なフォトニックバンドギャップ特性を有する積層材料とすることができます。

よって、例えば、上の例では穴列の一部を非周期性とすることによって、三次元的なフィルター特性を有する積層材料とすることができます。

【0014】上記A層がシリコン酸化膜、上記B層がシリコン層、および上記基板Cがシリコン基板である構成を採用するのが好適である。

【0015】上記A層がシリコン層、上記B層がシリコン酸化膜、および上記基板Cが石英基板である構成を採用することもできる。

【0016】上記シリコン酸化膜の代わりにシリコン窒化膜を形成する構成とすることも可能である。

【0017】上記シリコン層の代わりに化合物半導体層を形成する構成とすることもできる。

【0018】上記した三次元的なフォトニックバンドギャップ特性やフィルター特性を有する積層材料を用いて光機能素子を製造することができる。この光機能素子としては、導波管、光通信変調器又は光検出器などをあげることができる。

【0019】また、非周期性構造の部分に発光機能を賦与することにより、例えば、シリコン層にエルビウム（Er）等の希土類金属をドープした領域をp領域、n領域の間に形成することにより、発光が起こり、これをレーザーとして取り出すことができる光機能素子を得ることが可能である。

【0020】本発明に適用される基板貼り合わせ法は、半導体と半導体の積層のみならず表面の平坦性さえよければあらゆる基板（例えば、合成石英とシリコン等）の積層構造を作ることができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を添付図面に基づいて説明する。なお、これらの実施の形態は本発明の好ましい態様を例示したものであって、本発明がこれらに限定されるものでないことはいうまでもない。図1は本発明の膜厚方向のフォトニックバンドギャップ特性を有する積層構造の一例を示す側面的説明図である。図2は図1のフォトニックバンドギャップ積層構造の表面から複数個の穴を格子点状に周期的に規則正しく開穿して作製された三次元的なフォトニックバンドギャップ積層構造の上面的説明図である。

【0022】図3は本発明の膜厚方向のフィルター特性を具備した積層構造の一例を示す側面的説明図である。

図4は図3のフィルター特性を具備した積層構造の表面から複数個の穴を格子点状に周期的に規則正しく開穿するとともにその穴列の一部の格子点配置に不規則部分を介在させることにより作製された三次元的なフィルター特性を具備した積層構造の上面的説明図である。

【0023】図5は導波路構造の一例を示し、基板C上にA層とB層とを作製しB層に複数個の穴を一方向に開穿しあつ不規則部分を設けた構造を示す斜視説明図であ

方向に開穿しかつ不規則部分を設けた構造を示す説明図である。図7は本発明の光機能素子の一例を示す上面説明図である。図8は図7の一部断面拡大説明図である。図9はスマートカット法による積層構造の作製手順を示す説明図である。図10は基板貼り合わせ法の一手法による積層構造の作製手順を示す説明図である。

【0024】図1において、10は本発明の積層材料における膜厚方向のフォトニックバンドギャップ積層構造である。該積層構造10は基板Cを有し、該基板C上に屈折率の相異なる二つの層A及びBが一定の周期Pをもって二周期以上(図示例では五周期)周期的に積層せしめられる。

【0025】図2において、10aは本発明の積層材料における三次元的なフォトニックバンドギャップ積層構造で、図1に示した膜厚方向のフォトニックバンドギャップ積層構造10の表面から複数個の穴12を格子点状に周期的に規則正しく開穿して作製される。

【0026】図3において、11は本発明の積層材料における膜厚方向のフィルター特性を具備した積層構造である。該積層構造11は基板Cを有し、該基板C上に屈折率の相異なる二つの層A及びBが一定の周期Pをもって二周期以上周期的に積層せしめられる点は前記した積層構造10と同様であるが、この積層構造11の場合には前記積層構造10の一部にA層あるいはB層と膜厚の異なる層Dが挟み込まれ、一部に非周期性を有している点で相違している。

【0027】図4において、11aは本発明の積層材料における三次元的なフィルター特性を具備した積層構造である。該積層構造11aは図3に示した膜厚方向のフィルター特性を具備した積層構造11の表面から複数個の穴12を格子点状に周期的に規則正しく開穿するとともに一部の格子点状配置に非周期的部分又は不規則部分(穴のないところ:キャビティと呼ばれる)14を介在させることにより作製される。

【0028】これにより図の上下方向および左右方向にそれぞれ非周期性が存在し、これによってこの両方向に特定の波長のみが透過しうる二次元のフィルター作用が光の厚み方向(低面に直角な方向)のフィルター作用に付加され三次元のフィルター作用を有する素子(装置)が形成される。

【0029】フィルター特性を具備した積層構造について、図5及び図6によってさらに説明する。図5に示した積層構造は、基板C上にA層とB層とを作製し、B層に複数個の穴12を一方向に周期的に開穿しかつ非周期的部分又は不規則部分(穴のないところ:キャビティ)14を設けたものである。この場合、B層の一方向に対しては特定の波長の光のみが透過できる。

【0030】また、図6に示すように、B層に複数個の穴12を二方向に周期的に開穿しかつ非周期的部分又は

ると、B層の二方向に対してそれぞれ特定の波長の光のみが透過できるようになる。

【0031】この現象を利用すると、導波路として有用であり、特定の波長のみを透過させるフィルター効果が得られる。

【0032】さらに図7に示すように、B層【シリコン層の非周期構造(キャビティ)の部分】にエルビウム(Er)等の希土類金属をドープして、上下にpin接合構造をつくり、上下方向から電圧をかけると発光が起り、これをレーザーとして、例えば、矢印の方向に取り出すことができる。

【0033】この構成では光発信の方式のみであり、光通信を行うには光受信の方式が必要である。そのため、受光部にはSiGe結晶を回路内にエピタキシャルの選択成長により形成し、光信号を電気信号に変換する構成を用いることができる。

【0034】これらの作用を現在のLSIチップ内に組み込むことにより、第1の応用として各ユーザ(家庭)への光通信の分配、双方向通信が1チップ内でできる。

20 第2には現在のLSIの最大の障壁となる金属配線による、信号伝播の遅れを解決するので計り知れない効果となる。

【0035】さらに、これまでのICチップの性能に光結合を使うことにより、高速化、縮小化を行うことができる他、光の曲げに対して曲率を必要としない直角曲げが可能となり、高角度の分配が行える上、信頼性の向上ができる。応用可能なデバイスとしては、上記した導波路の他に光通信変調器、フィルター光検出器、レーザーなどをあげることができる。

30 【0036】前記A層とB層とは屈折率差の大きい材料を用いればよいが、例えば次の組み合わせが好適に用いられる。①A層がシリコン酸化膜、B層がシリコン層、基板Cがシリコン基、又は②A層がシリコン層、B層がシリコン酸化膜、基板Cが石英基板である。シリコン酸化膜の代わりにシリコン窒化膜を用いることができ、またシリコン層の代わりに化合物半導体層を用いることも可能で、これら材料の組み合わせによって多様な積層材料がえられる。

【0037】上記した各種の積層構造を形成するには基板貼り合わせ法を適用することができる。この基板貼り合わせ法の手順について、基板としてシリコン単結晶を用いる場合を例にとって説明する。

【0038】まず、平坦な表面を有するシリコン単結晶ウェーハの表面に酸化膜を形成したのち、別の平坦なシリコン単結晶ウェーハを互いに表面が向き合うように接触させる。これにより、二枚の基板間にファンデアワールス力が働き、貼り合わせが完了する。

【0039】この場合、例えば、800°C~1100°Cに加熱することによってその結合を促進させることができ

度まで機械的研磨（必要によりエッティングが行われる場合もある）が行われる。その面に基板Bを貼り合わせ、研磨（必要に応じてエッティング）により基板Bを必要な膜厚とする。これにより、積層構造の一周期が完成する。

【0040】その後、A B両層の周期Pが必要な周期数になるまで、上記工程を繰り返す。これにより、厚さ方向に必要な周期数の屈折率の異なる層を貼り合わせることができ、フォトニックバンドギャップ特性を有する積層構造10が完成する（図1）。必要に応じ熱処理を行い、貼り合わせの強度を高めることができる。

【0041】また、別々に何層かの積層構造を形成した後、その両者を貼り合わせて所定の周期構造を形成することもできる。

【0042】さらに、この積層構造10の表面から複数個の穴12を格子点状に規則正しく開穿し、Siと空気層との間で屈折率を面内でも周期的に変化させることにより、三次元的なフォトニックバンドギャップ積層構造10aを作ることができる（図2）。

【0043】フィルター特性を具備した積層構造11については、同様に積層する過程で、総周期数の1/2付近のAあるいはB層の膜厚を必要に応じて変えることにより、実現することができる。この層Dは、周期性を乱すことになるので、欠陥層と呼ばれている（図3）。

【0044】この積層構造11の表面から複数個の穴12を格子点状に規則正しく開穿するとともに一部の格子点状配置に不規則部分（穴のないところ：キャビティ）14を介在させることにより、三次元的なフィルター特性を具備した積層構造11aを作ることができる（図4）。

【0045】又、例えば、積層した第2周期のA層の面内に図4に示したごとく、細孔を規則的に開穿し一部にキャビティを形成したのち次の貼り合わせを繰返すことにより特定の層について平面（二次元）方向にフィルター特性をもたせることも可能である。

【0046】本発明における基板貼り合わせ法としてスマートカット法を用いることにより、研磨により基板を除去する工程を省略することができる他、層の厚さや均一性を大幅に向上させることができ、高精度の素子の実現が可能となる。

【0047】スマートカット法とは、特開平5-211128号に開示された薄い半導体材料フィルムの製造に適用可能な方法をいうものであり、具体的には薄い半導体材料フィルムの製造方法であって、半導体材料が完全に単結晶質の場合にはその面が主要結晶面と実質的に平行であり、材料が多結晶質の場合にはその面が全ての粒子に対して同一指數の主要結晶面に対して僅かに傾斜している半導体材料ウェーハを、以下の3つの段階：基板のバルクを構成する下方区域と薄いフィルムを構成する

泡の層をイオンの平均進入深さに近い深さの前記ウェーハの容積部に生じる、イオンにより行われる前記ウェーハの面へのポンバードによる注入の第1段階であって、イオンは水素ガスイオン又は稀ガスイオンの中から選択され、注入中のウェーハ温度は、注入イオンにより発生されたガスが拡散により半導体から放し出される温度よりも低く維持されている第1段階と、前記ウェーハの平面を、少なくとも1つの剛性材料からなる補剛材と密着させる第2段階と、イオンポンバードが実施される温度よりも高く、且つこの段階中に前記補剛材と前記ウェーハの平面とは密着させたままで、ウェーハ中の結晶の再配列作用及び微小気泡内の圧力作用により薄いフィルムと基板のバルクとを分離させるのに適した温度で前記ウェーハと前記補剛材とのアセンブリを熱処理する第3段階とで処理することを包含することを特徴とする方法を指称するものである。

【0048】このスマートカット法を用いた基板貼り合わせによる積層構造の作製手順を図7の工程図によって説明する（「シリコンの科学」USC半導体基盤技術研究会編、株式会社アライズ社、1996年6月28日発行、459頁～466頁、「貼り合わせSOI基板」、三谷清著、465頁、「3.2スマートカット技術」及びFig. 12参照）。貼り合わせ前に、熱酸化によって酸化膜Aが表面に形成されたボンドウェーハ18に軽元素イオン（水素イオン等）をイオン注入し、これをベースウェーハ16と室温で貼り合わせる。その後の結合アーナー工程中にイオン注入した部分20から歪によってウェーハに割れが生じ、基板C（ベースウェーハ16）上にA層（シリコン酸化膜）及びB層（シリコン層）が形成される。

【0049】これにより積層構造の一周期が完成される。B層表面は軽い研磨が必要とされるが、B層の膜厚はイオン注入の深さによって決定され自在にその膜厚を設定できる。アーナー中に剥離したボンドウェーハ18の他片18'はベースウェーハ16として再利用できるため、コストダウンとなる。上記した一周期の積層構造の完成の後、A B両層の周期が必要な周期数になるまで、上記工程を繰り返す。

【0050】これにより、前記した基板貼り合わせ法の場合と同様に厚さ方向に屈折率の異なる層を貼り合わせることができ、フォトニックバンドギャップ積層構造10, 10aやフィルター特性を具備した積層構造11, 11aを同様に作製することができる。

【0051】本発明に適用可能な基板貼り合わせ法としては、上述した方法以外に、図10に示した方法を採用することもできる（「シリコンの科学」USC半導体基盤技術研究会編、株式会社アライズ社、1996年6月28日発行、459頁～466頁、「貼り合わせSOI基板」、三谷清著、459頁～460頁、「1. 製造

されていないシリコンウェーハを基板ウェーハ（ベースウェーハ）16とし、必要な厚さに酸化されたウェーハ（ボンドウェーハ）18と室温で貼り合わせる。

【0052】貼り合わせ後、高い接着強度を得るために800°C以上の温度でアニールする。通常、1100°C、2時間、酸素雰囲気がアニール条件として用いられる。酸化されたボンドウェーハ18側を研削研磨により所定の厚さに薄膜化する。これにより、積層構造の一周期が完成する。

【0053】その後、AB両層の周期が必要な周期数になるまで、上記工程を繰り返す。なお、膜厚の均一性を改善するためにPACE法を適用することもできる。この方法は、シリコンを化学エッチングするものであるが、その具体的手法は特許第2565617号公報に開示されている。

【0054】即ち、PACE法とは、半導体ウェーハに対する厚さプロファイルデータを決定する手段と、前記厚さプロファイルデータから得られる滞在時間対位置地図を発生する手段と、前記半導体ウェーハから材料を除去する手段とを有し、前記材料除去手段は、前記滞在時間対位置地図にしたがって制御されると共に、前記半導体ウェーハを受入れるためのプラットフォームを有するプラズマエッチング室と、除去されるべき厚さ変化領域より小さいエッチング足跡を有する制限されたプラズマを前記室内に生成する手段と、前記滞在時間対位置地図にしたがって前記プラズマの滞在時間および位置を制御する手段とを備えている半導体ウェーハから材料を除去するシステムを指称するものである（特許第2565617号公報及び「シリコンの科学」USC半導体基盤技術研究会編、株式会社アライズ社、1996年6月28日発行、459頁～466頁、「貼り合わせSOI基板」、三谷清著、463頁～465頁「3.1PACE技術」参照）。

【0055】

【実施例】以下に、実施例を挙げて本発明をさらに具体的に説明する。これらの実施例は本発明の好ましい具体例を示したものであって、本発明がこれらの実施例に限定期に解釈されるべきものでないことは勿論である。

【0056】（実施例1）直径150mmの通常仕様のシリコンウェーハ（厚さ625μm、低抵抗率p型10Ωcm±2Ωcm）を用いた。まず、このシリコンウェーハを酸化してその表面に400nmの酸化膜を形成し、ボンドウェーハとした。

【0057】このボンドウェーハに加速電圧60keVで水素イオンを打込んだ（ドープ量： $5 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ ）。400nmの酸化膜を通して打込まれた水素イオンの最高濃度の位置はシリコン界面から220nmとなる。このボンドウェーハを酸化膜なしの同様仕様のシリコンウェーハ（ベースウェーハ）と室温で貼り合わせて

0nmの酸化膜と220nmのシリコン層はベースウェーハ上に移された。

【0058】剥離面はミクロに見ると粗れているので、RTA（急速加熱：Rapid Thermal Anneal）をして平滑化した。しかし、大きな周期の粗れは残るので、その後タッチボリッシュを0.03～0.05μm行った。これで1度目の積層が完了した。以後上記操作を繰り返して2回行い3層構造とした。

【0059】この3層の積層構造について、PBG（フォトニックバンドギャップ）現象が起こっているかどうかを赤外線スペクトルによって確認し、その結果を図11に示した。同図から明らかなように、PBG現象が起きていることが確認できた。

【0060】（実施例2～4）シリコン基板C上に絶縁体層Aとシリコン層Bの積層により、作製した層厚方向のフォトニックバンドギャップ構造。

【0061】厚さはシリコン層が400nm、絶縁体層が400nmで、周期数は5周期である。絶縁体としてはシリコン酸化膜（実施例2）あるいはシリコン窒化膜（実施例3）である。積層に垂直な方向から光を入射し、透過特性を測定したところ、シリコン酸化膜（実施例2）の場合には1～2ミクロンの波長帯で、透過率が0となり、フォトニックバンドギャップ構造ができていることを確認した。

【0062】シリコン窒化膜（実施例3）の場合にもほぼ同様の波長域でフォトニックバンドギャップ特性が生じることを確認した。同様にCに石英基板を用い、シリコン層をA、絶縁体層をBにした構造（実施例4）でも同一の特性が得られることを確認した。

【0063】（実施例5及び6）シリコン基板C上に絶縁体層Aと化合物半導体層Bの積層により、作製した膜厚方向のフォトニックバンドギャップ構造。

【0064】厚さは化合物半導体層が400nm、絶縁体層が400nmで、周期数は5周期である。化合物半導体としてはGaAsを、絶縁体としてはシリコン酸化膜（実施例5）あるいはシリコン窒化膜（実施例6）で、シリコン酸化膜（実施例5）の場合には1～2ミクロンの波長帯で、透過率が0となり、フォトニックバンドギャップ構造ができていることを確認した。シリコン窒化膜（実施例6）の場合にもほぼ同様の波長域でフォトニックバンドギャップ特性が生じることを確認した。

【0065】（実施例7～11）上記した実施例2～6に示した積層構造の表面から等間隔に穴を開けた。この穴の径は400nm、周期を800nmとした。積層の面内方向の光の透過特性も1～2ミクロン帯で透過率が0となることを確認した。この結果、どの方向から光を入射しても、この波長帯で透過率が0となる、三次元フォトニックバンドギャップを実現することができた。

11

は、結晶品質の低下がなく、周期性も正確に形成されかつ気相成長法によらずに製造され、かつ光機能素子として有用に利用されるという効果を有する。また、本発明の光機能素子は、導波路、光通信変調器又は光検出器、レーザーなどとして極めて有効に用いられるという効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の膜厚方向のフォトニックバンドギャップ積層構造の一例を示す側面的説明図である。

【図2】 図1のフォトニックバンドギャップ積層構造の表面から複数個の穴を格子点状に規則正しく開穿して作製された三次元的なフォトニックバンドギャップ積層構造の上面的説明図である。

【図3】 本発明の膜厚方向のフィルター特性を具備した積層構造の一例を示す側面的説明図である。

【図4】 図1のフィルター特性を具備した積層構造の表面から複数個の穴を格子点状に規則正しく開穿するとともに一部の格子点配置に不規則部分を介在させることにより作製された三次元的なフィルター特性を具備した積層構造の上面的説明図である。

【図5】 導波路構造の一例を示し、基板C上にA層と

B層とを作製しB層に複数個の穴を一方向に開穿しかつ不規則部分を設けた構造を示す斜視説明図である。

【図6】 A層上にB層を作製しB層に複数個の穴を二方向に開穿しかつ不規則部分を設けた構造を示す説明図である。

【図7】 本発明の光機能素子の一例を示す上面説明図である。

【図8】 図7の一部断面拡大説明図である。

【図9】 スマートカット法による積層構造の作製手順を示す説明図である。

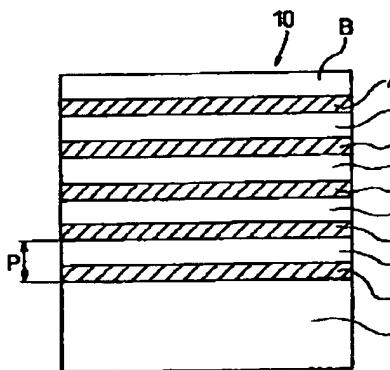
【図10】 基板貼り合わせ法の一手法による積層構造の作製手順を示す説明図である。

【図11】 実施例1によって作製した積層構造の赤外スペクトルを示すグラフである。

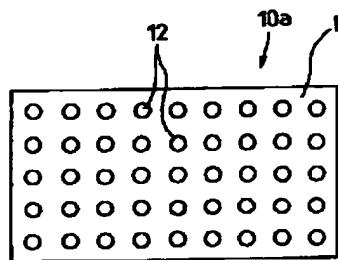
【符号の説明】

A, B : 層折率の異なる層、C : 基板、D : 欠陥層、
P : 周期、10, 10a : フォトニックバンドギャップ積層構造、11, 11a : フィルター特性を具備した積層構造、12 : 穴、14 : 不規則部分(キャビティ)、
16 : ベースウェーハ、18 : ボンドウェーハ、18' : 他片、20 : イオン注入した部分。

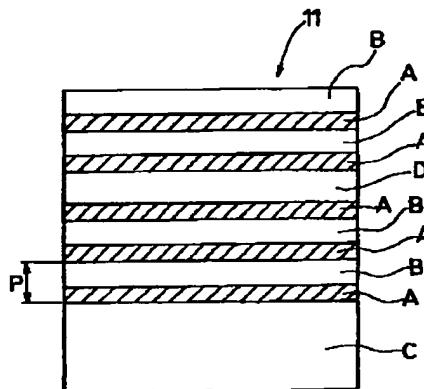
【図1】



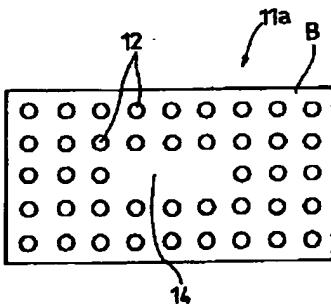
【図2】



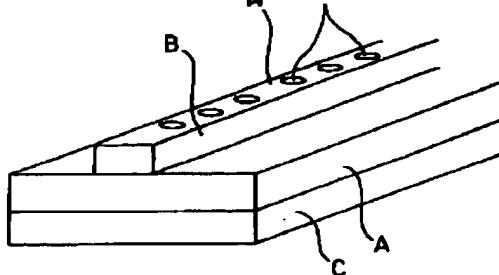
【図3】



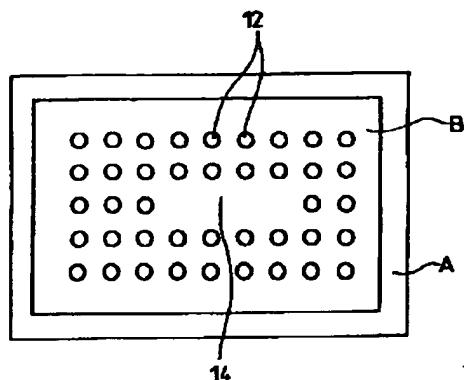
【図4】



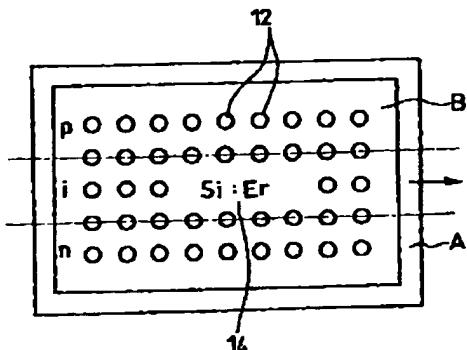
【図5】



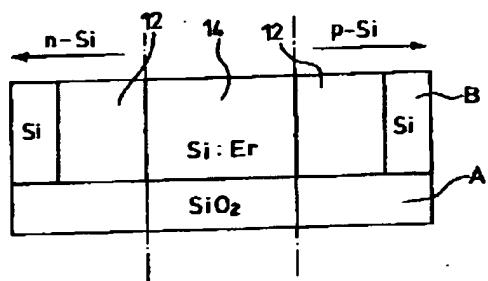
【図6】



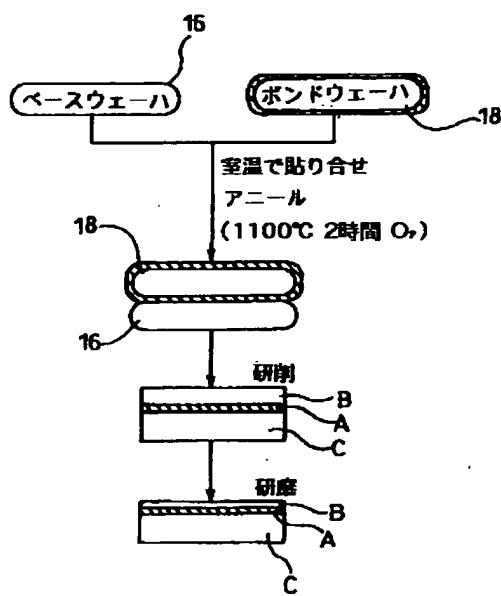
【図7】



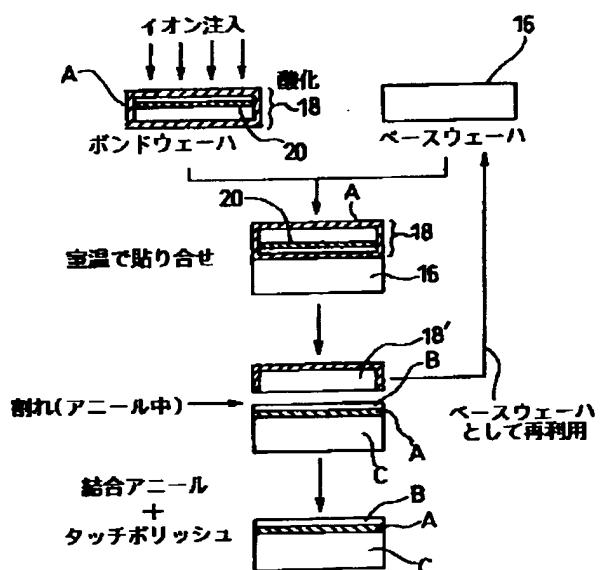
【図8】



【図10】



【図9】



【図11】

